

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-245092

(43)Date of publication of application : 30.08.2002

(51)Int.Cl. G06F 17/50

F02D 45/00

(21)Application number : 2001-043897

(71)Applicant : TOYOTA CENTRAL RES & DEV
LAB INC

(22)Date of filing : 20.02.2001

(72)Inventor : ASANO AKIHIKO
KONDO TERUAKI
KURAZONO KOICHI

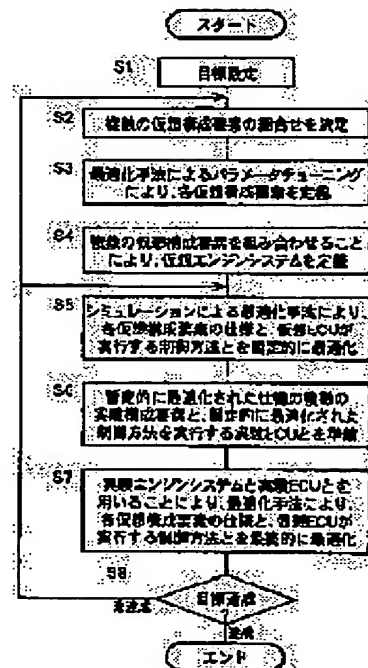
(54) METHOD AND PROGRAM FOR COMPUTER AIDED DESIGN, AND RECORDING MEDIUM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To allow a computer to aid a designer for effectively designing a real system obtained by composing a plurality of real components and high efficiency without having expert technique.

SOLUTION: Each real element tunes the parameter of each virtual element being a virtual model describing its characteristic by a parameter by comparing it with the experiment model of each real element (S3).

Successively, a virtual system being the virtual model of the real system optimizes the specification of each virtual element temporarily so as to attain a plurality of targets set in advance together (S5). After that, the specification of each virtual element is optimized finally by comparing it with the experiment model of the real system reflecting the temporarily optimized specification (S7).



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2002-245092
(P2002-245092A)

(43)公開日 平成14年8月30日(2002.8.30)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード*(参考)
G 0 6 F 17/50	6 0 4	G 0 6 F 17/50	6 0 4 A 3 G 0 8 4
	6 8 0		6 8 0 Z 5 B 0 4 6
F 0 2 D 45/00	3 7 6	F 0 2 D 45/00	3 7 6 H

審査請求 未請求 請求項の数7 O L (全 14 頁)

(21)出願番号 特願2001-43897(P2001-43897)

(22)出願日 平成13年2月20日(2001.2.20)

(71)出願人 000003609

株式会社豊田中央研究所

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番
地の1

(72)発明者 浅野 明彦

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番
地の1 株式会社豊田中央研究所内

(72)発明者 近藤 照明

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番
地の1 株式会社豊田中央研究所内

(74)代理人 100107674

弁理士 来栖 和則

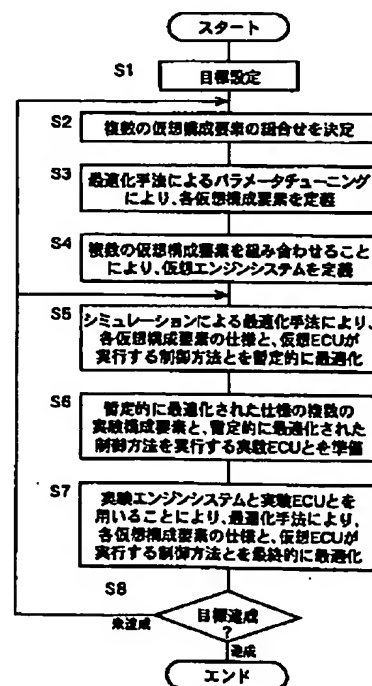
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 コンピュータ支援設計方法、コンピュータ支援設計プログラムおよび記録媒体

(57)【要約】

【課題】設計者が、職人芸的な技術を有しなくても、複数の現実構成部品が複合して成る現実システムを高い目標達成度で、かつ、高い効率で設計することをコンピュータによって支援する。

【解決手段】各現実構成要素ごとに、その特性をパラメータにより記述する仮想モデルである各仮想構成要素のそのパラメータを、対応する各現実構成要素の実験モデルとの比較により、チューニングする(S3)。続いて、現実システムの仮想モデルである仮想システムが、予め設定された複数の目標を一緒に達成するように、各仮想構成要素の仕様を暫定的に最適化する(S5)。その後、各仮想構成要素の仕様を、現実システムの実験モデルであって暫定的に最適化された仕様を反映したものとの比較により、最終的に最適化する(S7)。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 複数の現実構成要素が互いに連携するように構成された現実システムを、予め設定された複数の目標と一緒に達成されるように設計することをコンピュータによって支援する方法であって、

前記各現実構成要素ごとに個別に、各現実構成要素の特性をパラメータにより記述する仮想モデルである仮想構成要素を、予め定められた最適化手法に従い、各仮想構成要素と、対応する各現実構成要素の実験モデルである各実験構成要素であって各現実構成要素が個別に達成すべき目標を達成するために各現実構成要素が採用することが一般的に予想される構造を反映したものの特性上の比較により、前記複数の現実構成要素相互の特性上の依存を考慮しないで、各仮想構成要素に対応する各現実構成要素が個別に達成すべき目標が達成されるように最適化し、それにより、各仮想構成要素の前記パラメータをチューニングするパラメータチューニング工程と、前記各仮想構成要素ごとに前記パラメータがチューニングされた複数の仮想構成要素を組み合わせることで、前記現実システムを表現する仮想モデルである仮想システムを定義するとともに、その定義された仮想システムが前記複数の目標と一緒に達成するように、前記各仮想構成要素の仕様を、予め定められた最適化手法に従い、前記複数の現実構成要素相互の特性上の依存を考慮することにより、暫定的に最適化する暫定的最適化工程と、前記各仮想構成要素の仕様を、予め定められた最適化手法に従い、前記現実システムの実験モデルである実験システムであって前記暫定的に最適化された仕様を反映したものと比較するとともに前記複数の現実構成要素相互の特性上の依存を考慮することにより、最終的な前記仮想システムが前記複数の目標と一緒に達成するように、最終的に最適化する最終的最適化工程とを含むコンピュータ支援設計方法。

【請求項 2】 前記複数の現実構成要素の少なくとも 1 つが、他の現実構成要素の少なくとも 1 つを現実制御対象として電気的に制御する現実制御装置であり、前記暫定的最適化工程が、その現実制御装置が前記現実制御対象を制御する制御方法を、前記暫定的最適化仕様を反映した前記仮想システムのもとに、それら現実制御装置と現実制御対象相互の特性上の依存を考慮することにより、暫定的に最適化する制御方法暫定的最適化工程を含み、前記最終的最適化工程が、その暫定的に最適化された制御方法を、前記最終的に最適化された前記各仮想構成要素の仕様を反映した前記仮想システムのもとに、前記現実制御装置と現実制御対象相互の特性上の依存を考慮することにより、最終的に最適化する工程を含む請求項 1 に記載のコンピュータ支援設計方法。

【請求項 3】 前記パラメータチューニング工程と前記

暫定的最適化工程と前記最終的最適化工程とのうち少なくともパラメータチューニング工程と最終的最適化工程とがそれぞれ、前記予め定められた最適化手法として、前記仮想モデルと前記実験モデルとの特性上の比較によりその仮想モデルがその実験モデルに適合する程度である適合度を逐次計算し、その計算された適合度が予め定められた収束条件を満たすまで、前記仮想モデルの最適化を継続する適合度参照型逐次解法を採用するものである請求項 1 または 2 に記載のコンピュータ支援設計方法。

【請求項 4】 前記現実システムが、自動車のエンジンと、そのエンジンのための吸気系および排気系と、前記エンジンを電気的に制御する制御装置とを前記複数の現実構成要素として含む現実エンジンシステムである請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載のコンピュータ支援設計方法。

【請求項 5】 前記現実エンジンシステムが、さらに、触媒の作用により前記エンジンからの排出ガスを浄化する触媒コンバータを含み、前記パラメータが、その触媒コンバータにおける浄化反応の反応速度に係る係数を含む請求項 4 に記載のコンピュータ支援設計方法。

【請求項 6】 請求項 1 ないし 5 のいずれかに記載のコンピュータ支援設計方法を実施するためにコンピュータにより実行されるコンピュータ支援設計プログラム。

【請求項 7】 請求項 6 に記載のコンピュータ支援設計プログラムをコンピュータ読取り可能に記録した記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、複数の構成要素が互いに連携するように構成されたシステムを、予め設定された複数の目標と一緒に達成されるように設計する技術の改良に関する。

【0002】

【従来の技術】複数の構成要素が互いに連携するように構成されたシステムが存在する。このようなシステムの一例は、自動車におけるエンジンシステムである。

【0003】自動車用のエンジンシステムは、一般に、その主体であるエンジンと、その燃焼室への気体の吸入を可能にする吸気系と、エンジンの燃焼室に燃料を供給する燃料供給装置と、エンジンからの排出ガスを誘導して車外に放出する排気系と、その排出ガスを浄化する浄化装置としての触媒コンバータとを複数の構成要素として含むように構成される。

【0004】このエンジンシステムは、外部からの信号に従って電気的に作動させられる形式の構成要素である電気的構成要素を含むように構成される場合がある。この場合、エンジンシステムは、一般に、その電気的構成要素に信号を供給してそれを電気的に制御する制御装置をも含むように構成される。その電気的構成要素の一例

10

20

30

40

50

は、燃料供給装置としての電子燃料噴射装置であり、その制御装置の一例は、コンピュータを主体として構成される電子制御ユニット ECU である。以下、エンジンシステムがそれら電氣的構成要素と制御装置とを含むように構成される場合、エンジンシステムの全体をエンジンシステム（広義）と称し、その制御装置を除く部分をエンジンシステム（狭義）と称することとする。

【0005】そして、この種のエンジンシステム（広義）においては、それら複数の構成要素が互いに連携させられており、具体的には、例えば、電子燃料噴射装置が燃料をエンジンの燃焼室内に噴射するタイミング次第で、エンジンからの排出ガスに占める有害成分の量が変化する。

【0006】図 4 には、この種のシステムを設計するための従来の手法が、上述のエンジンシステム（広義）であって制御装置を含むように構成されたものを設計する場合を例にとり、フローチャートで表されている。

【0007】この従来の設計手法においては、設計者は、まず、ステップ S101 において、設計すべき現実エンジンシステム（広義）に対して複数の目標を設定する。例えば、エンジンについては出力特性に関する目標を設定し、排気系および触媒コンバータについては排気性能に関する目標を設定し、電子燃料噴射装置については燃費に関する目標を設定する。このような個別的な目標設定により、現実エンジンシステム（広義）の全体に対して複数の目標が設定されることとなる。

【0008】設計者は、その後、ステップ S102 において、それら設定された複数の目標が一緒に達成されるように、仮想エンジンシステム（狭義）の基本的構成、すなわち、それを構成する複数の仮想構成要素の組合せを概念的に決定する。

【0009】設計者は、続いて、ステップ S103 において、自らの勘と経験とを頼りに、現実エンジンシステム（狭義）の各現実構成要素ごとに個別に、各現実構成要素の特性をパラメータにより記述する仮想モデル（シミュレーションモデル）である仮想構成要素を構築する。

【0010】具体的には、設計者は、各仮想構成要素を、それに対応する実験モデル（実験を目的とした現実モデル）である各実験構成要素であって各現実構成要素が個別に達成すべき目標を達成するために各現実構成要素が採用することが一般的に予想される構造を反映したものとの特性上の比較により、複数の現実構成要素相互の特性上の依存を考慮しないで、各仮想構成要素に対応する各現実構成要素が個別に達成すべき目標が達成されるように構築する。

【0011】すなわち、設計者は、このステップ S103 において、試行錯誤により各仮想構成要素の上記パラメータをチューニングし、それにより、各仮想構成要素を個別に構築するのである。

【0012】設計者は、その後、ステップ S104 において、上記のようにしてパラメータがチューニングされた複数の仮想構成要素を組み合わせることにより、現実エンジンシステム（狭義）を表現する仮想モデル（シミュレーションモデル）である仮想エンジンシステム（狭義）を構築する。

【0013】設計者は、続いて、ステップ S105 において、自らの勘と経験とを頼りに、その構築された仮想エンジンシステム（狭義）が前記複数の目標と一緒に達成するように、各仮想構成要素の仕様を、前記複数の現実構成要素相互の特性上の依存を考慮することにより、暫定的に最適化する。具体的には、設計者は、その最適化を、試行錯誤によるパラメータスタディという手法により行う。

【0014】ここに、「試行錯誤によるパラメータスタディ」は、複数の目標と一緒に達成するという観点から、複数の仮想構成要素の全体を念頭において、各仮想構成要素の仕様における各要素をパラメータとし（前述の、各仮想構成要素の特性を記述するパラメータとは異なる）、それら複数のパラメータの組合せのうち目標達成の観点から最適であるものを予想する手法を意味する。この用語に関する定義は、後に現れる同じ用語についても適用される。

【0015】さらに、設計者は、現実エンジンシステム（広義）における現実制御装置がその現実制御対象を制御する制御方法を、上記のようにして暫定的に最適化された仕様である暫定的最適化仕様を反映した仮想エンジンシステム（狭義）のもとに、それら現実制御装置と現実制御対象相互の特性上の依存を考慮することにより、暫定的に最適化する。設計者は、この最適化も、試行錯誤によるパラメータスタディという手法により行う。

【0016】その後、設計者は、ステップ S106 において、現実エンジンシステム（狭義）の実験モデル（実験を目的とした現実モデル）である実験エンジンシステム（狭義）であって上記のようにして暫定的に最適化された仕様である暫定的最適化仕様を反映したものを準備する。さらに、設計者は、現実制御装置の実験モデル（実験を目的とした現実モデル）である実験制御装置であって上記のようにして暫定的に最適化された制御方法である暫定的最適化制御方法を実行するものをも準備する。

【0017】続いて、設計者は、ステップ S107 において、それら準備された実験エンジンシステム（狭義）と実験制御装置とを用いることにより、それらが全体として、前記複数の目標と一緒に達成するように、仮想エンジンシステム（狭義）の仕様と仮想制御装置が実行する制御方法とを、試行錯誤によるパラメータスタディという手法により最終的に最適化する。

【0018】その後、設計者は、ステップ S108 にお

10

20

30

40

50

いて、そのようにして最終的に最適化された仕様および制御方法が、前記複数の目標を満足できる程度と一緒に達成するものであるか否かを判定する。達成しないものである場合には、設計者は適宜、S102とS105とS107とのいずれかに戻り、設計変更を行う。これに対して、達成するものである場合には、設計者は、最終的に最適化された仮想エンジンシステム（広義）の構成を、現実エンジンシステム（広義）の構成として最終的に決定する。ここに、「最終的に最適化された仮想エンジンシステム（広義）の構成」には、仮想エンジンシステム（狭義）の仕様と、仮想制御装置の仕様であって、上記のようにして最終的に最適化された制御方法を実行するものが含まれる。

【0019】以上で、現実エンジンシステム（広義）についての一連の設計（開発）が終了する。

【0020】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、以上説明した従来の設計手法においては、S103におけるパラメータチューニングも、S105における暫定的最適化も、S107における最終的最適化も、設計者の勘と経験とを頼りにして試行錯誤により行われていた。

【0021】そのため、その従来の設計手法では、設計されたシステムが、予め設定された目標を達成する程度の高さである目標達成度が設計者の設計能力に依存する傾向が強かった。よって、この従来の設計手法では、目標達成度が高いシステムを設計するためには、設計者の職人芸的な技術が不可欠であった。

【0022】さらに、図4におけるS102（またはS105）ないしS108の実行は、予め設定された複数の目標が満足できる程度と一緒に達成されるまで繰り返される。

【0023】そのため、その従来の設計手法では、その設計に費やされる時間の長さが設計者の設計能力に依存する傾向も強かった。よって、この従来の設計手法では、高効率でシステムを設計するためにも、設計者の職人芸的な技術が不可欠であった。

【0024】

【課題を解決するための手段および発明の効果】それらの事情を背景として、本発明は、設計者が、職人芸的な技術を有しなくても、複数の構成部品が複合して成るシステムを高い目標達成度で、かつ、高い効率で設計可能とすることを課題としてなされたものであり、本発明によって下記各態様が得られる。各態様は、請求項と同様に、項に区分し、各項に番号を付し、必要に応じて他の項の番号を引用する形式で記載する。これは、本明細書に記載の技術的特徴のいくつかおよびそれらの組合せのいくつかの理解を容易にするためであり、本明細書に記載の技術的特徴やそれらの組合せが以下の態様に限定されると解釈されるべきではない。

【0025】（1） 複数の現実構成要素が互いに連携

するように構成された現実システムを、予め設定された複数の目標と一緒に達成されるように設計することをコンピュータによって支援する方法であって、前記各現実構成要素ごとに個別に、各現実構成要素の特性をパラメータにより記述する仮想モデルである仮想構成要素を、予め定められた最適化手法に従い、各仮想構成要素と、対応する各現実構成要素の実験モデルである各実験構成要素であって各現実構成要素が個別に達成すべき目標を達成するために各現実構成要素が採用することが一般的に予想される構造を反映したものとの特性上の比較により、前記複数の現実構成要素相互の特性上の依存を考慮しないで、各仮想構成要素に対応する各現実構成要素が個別に達成すべき目標が達成されるように最適化し、それにより、各仮想構成要素の前記パラメータをチューニングするパラメータチューニング工程と、前記各仮想構成要素ごとに前記パラメータがチューニングされた複数の仮想構成要素を組み合わせることで、前記現実システムを表現する仮想モデルである仮想システムを定義するとともに、その定義された仮想システムが前記複数の目標と一緒に達成するように、前記各仮想構成要素の仕様を、予め定められた最適化手法に従い、前記複数の現実構成要素相互の特性上の依存を考慮することにより、暫定的に最適化する暫定的最適化工程と、前記各仮想構成要素の仕様を、予め定められた最適化手法に従い、前記現実システムの実験モデルである実験システムであって前記暫定的に最適化された仕様を反映したものと比較するとともに前記複数の現実構成要素相互の特性上の依存を考慮することにより、最終的な前記仮想システムが前記複数の目標と一緒に達成するように、最終的に最適化する最終的最適化工程とを含むコンピュータ支援設計方法【請求項1】。この方法においては、現実システムにおける各現実構成要素の仮想モデルである各仮想構成要素がコンピュータにより定義される。各仮想構成要素の特性を記述するパラメータが予め定められた最適化手法に従い、完全にまたは部分的に自動的にチューニングされるのである。さらに、この方法においては、各仮想構成要素の仕様の暫定的最適化が、コンピュータにより、予め定められた最適化手法に従い、行われる。さらにまた、この方法においては、各仮想構成要素の仕様の最終的最適化が、コンピュータにより、予め定められた最適化手法に従い、行われる。したがって、この方法によれば、設計者は、前述の従来の設計手法におけるとは異なり、職人芸的な技術を有しなくても、パラメータチューニング、暫定的最適化および最終的最適化を、高い目標達成度で、かつ、高い効率で行うことが容易になる。すなわち、この方法によれば、互いに連携させられた複数の現実構成要素が複合されて成る現実システムの設計技術が、職人芸的な技術から、特別な知識も経験もセンスも必要としない一般的な技術にシフトさせられることになるのである。さらに、この方法においては、

パラメータチューニングが、各仮想構成要素と、それに対応する各現実構成要素の実験モデルである各実験構成要素であって各現実構成要素が個別に達成すべき目標を達成するために各現実構成要素が採用することが一般的に予想される構造を反映したものとの特性上の比較により、行われるのに対し、最終的最適化が、仮想システムと、現実システムの実験モデルである実験システムであって暫定的に最適化された仕様を反映したものとの比較により、行われる。したがって、この方法においては、共に実験モデルとの比較が行われる点で共通するにもかかわらず、パラメータチューニングにおいては、現実モデルの再現精度が比較的低い実験モデルとの比較が行われる点で、現実モデルの再現精度が比較の高い実験モデルとの比較が行われる最終的最適化と相違する。このように、この方法においては、コンピュータによる、実験モデルとの比較を伴う最適化が、各仮想構成要素の個別設計フェーズにおいては、低い精度の実験モデルを用いて迅速に行われるのに対し、仮想システムの全体設計フェーズにおいては、高い精度の実験モデルを用いて精密に行われる。よって、この方法によれば、高効率という要望と高精度という要望との両立を果たしつつ、互いに連携させられた複数の現実構成要素が複合されて成る現実システムの設計を行い得る。

(2) 前記複数の現実構成要素の少なくとも1つが、他の現実構成要素の少なくとも1つを現実制御対象として電気的に制御する現実制御装置であり、前記暫定的最適化工程が、その現実制御装置が前記現実制御対象を制御する制御方法を、前記暫定的最適化仕様を反映した前記仮想システムのもとに、それら現実制御装置と現実制御対象相互の特性上の依存を考慮することにより、暫定的に最適化する制御方法暫定的最適化工程を含み、前記最終的最適化工程が、その暫定的に最適化された制御方法を、前記最終的に最適化された前記各仮想構成要素の仕様を反映した前記仮想システムのもとに、前記現実制御装置と現実制御対象相互の特性上の依存を考慮することにより、最終的に最適化する工程を含む(1)項に記載のコンピュータ支援設計方法〔請求項2〕。この方法によれば、現実システム(広義)が現実制御装置を含むように構成される場合に、設計者は、現実システム(広義)のうちその現実制御装置を除く部分の仕様と、その現実制御装置が実行する制御方法との双方を、職人芸的な技術を有しなくても、高い目標達成度で、かつ、高い効率で設計することが容易になる。

(3) 前記現実制御装置が、前記制御方法を反映したプログラムがコンピュータにより実行されることにより、前記現実制御対象を制御するものであり、当該コンピュータ支援設計方法が、さらに、前記暫定的最適化工程により暫定的に最適化された制御方法を表すデータに基づき、前記現実制御装置の実験モデルである実験制御装置におけるプログラムを作成するプログラム作成工程

を含む(2)項に記載のコンピュータ支援設計方法。

(4) 前記パラメータチューニング工程と前記暫定的最適化工程と前記最終的最適化工程とがそれぞれ、前記予め定められた最適化手法として、数値計画法と、人工知能を応用した解法との少なくとも一方を採用するものである(1)ないし(3)項のいずれかに記載のコンピュータ支援設計方法。本項において「人工知能を応用した解法」は、例えば、遺伝的アルゴリズムとしたり、ニューラルネットワークとすることが可能である。

(5) 前記パラメータチューニング工程と前記暫定的最適化工程と前記最終的最適化工程とのうち少なくともパラメータチューニング工程と最終的最適化工程とがそれぞれ、前記予め定められた最適化手法として、前記仮想モデルと前記実験モデルとの特性上の比較によりその仮想モデルがその実験モデルに適合する程度である適合度を逐次計算し、その計算された適合度が予め定められた収束条件を満たすまで、前記仮想モデルの最適化を継続する適合度参照型逐次解法を採用するものである

(1)ないし(4)項のいずれかに記載のコンピュータ支援設計方法〔請求項3〕。本項において「適合度参照型逐次解法」は、例えば、遺伝的アルゴリズムを用いた解法とすることが可能である。

(6) 前記パラメータチューニング工程が、前記チューニングされたパラメータを前記コンピュータの画面上に表示するパラメータ表示工程を含み、前記暫定的最適化工程が、前記暫定的最適化仕様を前記画面上に表示する暫定的最適化仕様表示工程を含み、前記最終的最適化工程が、前記最終的に最適化された仕様を前記画面上に表示する最終的最適化仕様表示工程を含む(1)ないし

(5)項のいずれかに記載のコンピュータ支援設計方法。

(7) 前記現実システムが、自動車のエンジンと、そのエンジンのための吸気系および排気系と、前記エンジンを電気的に制御する制御装置とを前記複数の現実構成要素として含む現実エンジンシステムである(1)ないし(7)項のいずれかに記載のコンピュータ支援設計方法〔請求項4〕。この方法によれば、設計者は、現実エンジンシステムを、職人芸的な技術を有しなくても、高い目標達成度で、かつ、高い効率で設計することが容易になる。

(8) 前記現実エンジンシステムが、さらに、触媒の作用により前記エンジンからの排出ガスを浄化する触媒コンバータを含み、前記パラメータが、その触媒コンバータにおける浄化反応の反応速度に係る係数を含む

(7)項に記載のコンピュータ支援設計方法〔請求項5〕。

(9) (1)ないし(8)項のいずれかに記載のコンピュータ支援設計方法を実施するためにコンピュータにより実行されるコンピュータ支援設計プログラム〔請求項6〕。このプログラムがコンピュータにより実行され

れば、前記(1)ないし(8)項のいずれかに係るコンピュータ支援設計方法と基本的に同じ原理に従い、同様な作用効果が実現され得る。このプログラムは、その機能を果たすためにコンピュータにより実行される指令の組合せのみならず、各指令に従ってコンピュータにより処理されるファイルやデータをも含むように解釈することが可能である。

(10) (9)項に記載のコンピュータ支援設計プログラムをコンピュータ読取り可能に記録した記録媒体〔請求項7〕。この記録媒体に記録されているプログラムがコンピュータにより実行されれば、前記(8)項に係るコンピュータ支援設計プログラムにおける基本的な原理に従い、同様な作用効果が実現され得る。本項における「記録媒体」は種々の形式を採用可能であり、例えば、フロッピー(登録商標)ディスク等の磁気記録媒体、CD、CD-ROM等の光記録媒体、MO等の光磁気記録媒体、ROM等のアンリムーバブル・ストレージ等の少なくとも1つを採用可能である。

【0026】

【発明の実施の形態】以下、本発明のさらに具体的な実施形態を図面に基いて詳細に説明する。

【0027】本実施形態は、自動車用のエンジンシステムの設計をコンピュータによって支援する方法に関するものである。

【0028】図1には、そのエンジンシステムの構成が概念的に示されている。同図に示すように、このエンジンシステムは、エンジン10と、そのエンジン10の燃焼室への気体の吸入を可能にする吸気系12と、エンジン10の燃焼室に燃料を供給する燃料供給装置としての電子燃料噴射装置14と、エンジン10からの排出ガスを車外に排出する排気系16と、その排出ガスを浄化する浄化装置としての触媒コンバータ18とを複数の構成要素として含むように構成されている。

【0029】このエンジンシステムは、外部からの信号に従って電氣的に作動させられる形式の構成要素である電氣的構成要素を含むように構成されている。その電氣的構成要素の一例は、電子燃料噴射装置14である。このエンジンシステムは、さらに、その電氣的構成要素に信号を供給してそれを電氣的に制御する制御装置として、コンピュータを主体として構成される電子制御ユニット(以下、単に「ECU」と略称する)20をも含むように構成されている。以下、このエンジンシステムの全体をエンジンシステム(広義)と称し、ECU20を除く部分をエンジンシステム(狭義)と称することとする。

【0030】図2には、本実施形態であるコンピュータ支援設計方法を実施するために設計者により使用されるコンピュータシステム30のハードウェア構成が概念的にブロック図で示されている。

【0031】このコンピュータシステム30は、プロセ

シングユニット(同図においては「PU」で表す)40とメモリ42とがバス44により互いに接続されて構成されたコンピュータ46を主体として構成されている。メモリ42は、ROM、RAM、磁気ディスク、光ディスク等の記録媒体を含むように構成される。このメモリ42には、コンピュータ支援設計プログラムを始めとし、各種プログラムが予め記憶されている。

【0032】そのコンピュータ46には入力装置50が接続されている。この入力装置50は、例えば、ポインティングデバイスとしてのマウスや、文字・数字データを直接に入力するためのキーボードを含むように構成されている。そのコンピュータにはさらに、出力装置52も接続されている。この出力装置52は、画像を画面上に表示する表示装置を含むように構成されている。

【0033】図3には、前記エンジンシステム(広義)を設計する手法がフローチャートで表されている。この設計手法は8つのステップを含んでおり、それらステップのうちステップS1およびS2は、コンピュータシステム30上において設計者により主体的に実行されるものであり、ステップS3ないしS5、S7およびS8は、コンピュータシステム30により主体的に実行されるものであり、残りのステップS6は、コンピュータシステム30から独立して設計者またはその関係者により実行されるものである。

【0034】この設計手法においては、まず、ステップS1において、設計者が、設計すべき現実エンジンシステム(広義)に対して複数の目標を設定する。このステップS1の内容は、前述の従来の設計手法におけるS101の内容と同様である。

【0035】その後、ステップS2において、設計者が、それら設定された複数の目標が一緒に達成されるように、仮想エンジンシステム(狭義)の基本的構成、すなわち、それを構成する複数の仮想構成要素の組合せを概念的に決定する。このステップS2の内容は、前述の従来の設計手法におけるS102の内容と同様である。

【0036】続いて、ステップS3において、コンピュータシステム30が、シミュレーションによる最適化手法により、現実エンジンシステム(狭義)の各現実構成要素ごとに個別に、各現実構成要素の特性をパラメータにより記述する仮想モデル(シミュレーションモデル)である仮想構成要素を定義する。

【0037】具体的には、コンピュータシステム30は、各仮想構成要素を、それに対応する実験モデル(実験を目的とした現実モデル)である各実験構成要素であって各現実構成要素が個別に達成すべき目標を達成するために各現実構成要素が採用することが一般的に予想される構造を反映したものとの特性上の比較により、複数の現実構成要素相互の特性上の依存を考慮しないで、各仮想構成要素に対応する各現実構成要素が個別に達成すべき目標が達成されるように定義する。

【0038】すなわち、コンピュータシステム30は、このステップS3において、シミュレーションによる最適化手法により、各仮想構成要素の上記パラメータをチューニングし、それにより、各仮想構成要素を個別に定義するのである。このステップS3の実行は、コンピュータシステム30が前記コンピュータ支援設計プログラムを実行することにより行われる。

【0039】このステップS3における最適化手法は、上記パラメータを逐次的に変化させるごとに、最適化対象である仮想モデルの実験モデル（現実または仮想の物理モデル）に対する適合度（仮想モデルが実験モデルの特性を反映する程度）を計算し、その計算された適合度が予め定められた収束条件を満たすまで、パラメータの逐次的変化を繰り返す手法である。このような手法の一例は遺伝的アルゴリズムを用いたものであり、この遺伝的アルゴリズムを用いた最適化方法の一従来例が特開平9-325949号公報に記載されている。

【0040】その後、ステップS4において、コンピュータシステム30が、上記のようにしてパラメータがチューニングされた複数の仮想構成要素を組み合わせることにより、現実エンジンシステム（狭義）を表現する仮想モデル（シミュレーションモデル）である仮想エンジンシステム（狭義）を定義する。このステップS4の実行も、コンピュータシステム30が前記コンピュータ支援設計プログラムを実行することにより行われる。

【0041】続いて、ステップS5において、コンピュータシステム30が、シミュレーションによる最適化手法により、その定義された仮想エンジンシステム（狭義）が前記複数の目標を一緒に達成するように、各仮想構成要素の仕様を、前記複数の現実構成要素相互の特性上の依存を考慮することにより、暫定的に最適化する。

【0042】さらに、コンピュータシステム30は、シミュレーションによる最適化手法により、現実エンジンシステム（広義）における現実ECU20がその現実制御対象を制御する制御方法を、上記のようにして暫定的に最適化された仕様である暫定的最適化仕様を反映した仮想エンジンシステム（狭義）のもとに、それら現実ECU20と現実制御対象相互の特性上の依存を考慮することにより、暫定的に最適化する。

【0043】このステップS5における最適化手法は、「人工知能を応用した解法」、すなわち、例えば、遺伝的アルゴリズムやニューラルネットワークである。

【0044】このステップS5の実行も、コンピュータシステム30が前記コンピュータ支援設計プログラムを実行することにより行われる。

【0045】その後、ステップS6において、設計者が、現実エンジンシステム（狭義）の実験モデル（実験を目的とした現実モデル）である実験エンジンシステム（狭義）であって上記のようにして暫定的に最適化された仕様である暫定的最適化仕様を反映したものを準備す

る。さらに、設計者は、現実ECU20の実験モデル（実験を目的とした現実モデル）である実験ECU20であって上記のようにして暫定的に最適化された制御方法である暫定的最適化制御方法を実行するものをも準備する。

【0046】続いて、ステップS7において、コンピュータシステム30が、それら準備された実験エンジンシステム（狭義）と実験ECU20とを用いることにより、それらが全体として、前記複数の目標を一緒に達成するように、仮想エンジンシステム（狭義）の仕様と仮想ECU20が実行する制御方法とを、シミュレーションによる最適化手法により最終的に最適化する。

【0047】具体的には、コンピュータシステム30は、各仮想構成要素の仕様を、シミュレーションによる最適化手法により、実験エンジンシステム（狭義）であって暫定的に最適化された仕様を反映したものと比較するとともに複数の現実構成要素相互の特性上の依存を考慮することにより、最終的に最適化する。

【0048】さらに、コンピュータシステム30は、暫定的に最適化された制御方法を、シミュレーションによる最適化手法により、上記のようにして最終的に最適化された各仮想構成要素の仕様を反映した仮想システムのもとに、現実ECU20と現実制御対象相互の特性上の依存を考慮することにより、最終的に最適化する。

【0049】このステップS7における最適化手法は、上記ステップS3における最適化手法に準じて、仮想エンジンシステム（狭義）の仕様における各要素と、仮想ECU20が実行する制御方法における各要素とをそれぞれパラメータとし、各パラメータを逐次的に変化させるごとに、最適化対象である仮想モデルの実験モデル（現実または仮想の物理モデル）に対する適合度（仮想モデルが実験モデルの特性を反映する程度）を計算し、その計算された適合度が予め定められた収束条件を満たすまで、パラメータの逐次的変化を繰り返す手法である。このような手法の一例は遺伝的アルゴリズムを用いたものであり、前述のように、この遺伝的アルゴリズムを用いた最適化方法の一従来例が特開平9-325949号公報に記載されている。

【0050】このステップS7の実行も、コンピュータシステム30が前記コンピュータ支援設計プログラムを実行することにより行われる。

【0051】その後、ステップS8において、コンピュータシステム30が、そのようにして最終的に最適化された仕様および制御方法が、前記複数の目標を満足できる程度に一緒に達成するものであるか否かを判定する。このステップS8の実行も、コンピュータシステム30が前記コンピュータ支援設計プログラムを実行することにより行われる。

【0052】最終的に最適化された仕様および制御方法が、前記複数の目標を満足できる程度に一緒に達成する

ものではない場合には、設計者は適宜、S1とS5とのいずれかに戻り、設計変更を行う。これに対して、達成するものである場合には、設計者は、現実エンジンシステム（広義）の構成を最終的に決定する。具体的には、現実エンジンシステム（狭義）の仕様を最終的に決定し、さらに、現実ECU20の仕様を、最終的に最適化された制御方法を実行するものとして、最終的に決定する。

【0053】以上で、現実エンジンシステム（広義）についての一連の設計（開発）が終了する。

【0054】次に、図3に示す設計手法の適用例をさらに具体的に説明する。

【0055】この適用例においては、エンジン10が直噴ディーゼルエンジンであり、かつ、触媒コンバータ18が選択還元型NO_x触媒コンバータである現実エンジンシステム（広義）が設計対象とされている。この現実エンジンシステム（広義）においては、その触媒コンバータ18に還元剤として燃料を供給するため、図5に示すように、エンジン10のある気筒（同図においては#3気筒）の膨張行程においてその気筒に燃料が電子燃料噴射装置14により噴射される。その電子燃料噴射装置14はもちろん、ECU20により制御される。すなわち、膨張行程噴射制御がECU20により実現されるのである。

【0056】この適用例に図3に示す設計手法が適用されれば、まず、ステップS1において、設計者により、その現実エンジンシステム（広義）に対して、10.15モードの運転条件のもとに、膨張行程噴射による燃費悪化率が3%以内であるという目標と、触媒コンバータ18による、エンジン10からの排気ガス中のNO_xに関する浄化率が30%以上であるという目標とが設定される。

【0057】次に、ステップS2において、設計者が、それら設定された2つの目標が一緒に達成されるように、直噴ディーゼルエンジンであるエンジン10と、選択還元型NO_x触媒コンバータである触媒コンバータ18とを、仮想エンジンシステム（狭義）を構成する複数の仮想構成要素の組合せに決定する。

【0058】その後、ステップS3において、コンピュータシステム30が、シミュレーションによる最適化手法により、エンジン10の仮想モデル（物理モデル）と、触媒コンバータ18の仮想モデル（物理モデル）とを定義する。

【0059】図6には、触媒コンバータ18のための解析用供試触媒コンバータが斜視図で示されるとともに、その触媒コンバータにおける排気の流れが矢印で示されている。この適用例においては、その排気流れの方向がx方向として定義されている。

【0060】さらに、図7および図8には、触媒コンバータ18の浄化挙動をコンピュータシステム30により

計算するための仮想モデル（物理モデル）が示されている。図7には、排気流れにおいて物質が保存されることを考慮した1次元の仮想モデルが示され、これに対して、図8には、排気流れにおいて熱エネルギーが保存されることを考慮した1次元の仮想モデルが示されている。いずれのモデルにおいても、触媒コンバータ18の容器内の空間が、ガス層（空気）と触媒層とに仕切られている。

【0061】排気流れにおいて物質が保存される現象は、炭化水素HCについては、図9における（1）の保存方程式で表され、これに対し、窒素酸化物NO_xについては、同図における（2）の保存方程式で表される。それら2つの式における各記号の定義は以下のようである。

【0062】 ρ_g : ガスの密度

M_x : ガスの分子量

u_g : ガスの流速

m_g : ガスの質量

[HC] : HCのモル分率

[NO_x] : NO_xのモル分率

S_{HC} : HCの反応速度

S_{NO_x} : NO_xの反応速度

【0063】この適用例においては、HCの反応速度 S_{HC} とNO_xの反応速度 S_{NO_x} とがそれぞれ、最適化手法によりチューニングされるパラメータであり、「触媒コンバータにおける浄化反応の反応速度に係る係数」の一例なのである。

【0064】図10には、それらパラメータの初期値のもとに、触媒コンバータ18におけるHC浄化率とNO_x浄化率とに関し、その触媒コンバータ18の実験モデルを用いて取得された実験値と、前記仮想モデルを用いてコンピュータシステム30により計算された計算値とがそれぞれ、実線のグラフと破線のグラフとによって示されている。それらグラフから明らかなように、それらパラメータの初期値のもとにおいては、実験値と計算値とが十分に高い精度では互いに一致していない。

【0065】そのため、このステップS3においては、それらパラメータのチューニングが遺伝的アルゴリズムを利用した最適化手法により行われる。具体的には、HCの反応速度 S_{HC} とNO_xの反応速度 S_{NO_x} とが生物の染色体に見立てられて遺伝的アルゴリズムによってパラメータチューニングが行われるのである。

【0066】図11には、そのパラメータチューニングの終了後に、触媒コンバータ18におけるHC浄化率とNO_x浄化率とに関し、その触媒コンバータ18の実験モデルを用いて取得された実験値と、前記仮想モデルを用いてコンピュータシステム30により計算された計算値とがそれぞれ、実線のグラフと破線のグラフとによって示されている。それらグラフから明らかなように、そのパラメータチューニングの終了後においては、実験値

10

20

30

40

50

と計算値とが十分に高い精度で互いに一致している。

【0067】その後、ステップS4において、コンピュータシステム30が、上記のようにしてパラメータがチューニングされた触媒コンバータ18と、従来におけると同様にしてパラメータがチューニングされたエンジン10とを組み合わせることにより、仮想エンジンシステム（狭義）を構成する。

【0068】続いて、ステップS5において、コンピュータシステム30が、シミュレーションによる最適化手法により、その定義された仮想エンジンシステム（狭義）が前記2つの目標を一緒に達成するように、エンジン10の仕様と、触媒コンバータ18の仕様とを暫定的に最適化する。

【0069】この適用例においては、エンジン10の仕様として、その排気量が2000 [cc] とされ、触媒コンバータ18の仕様として、その容量が2 [L] とされる。

【0070】このステップS5においては、さらに、コンピュータシステム30が、シミュレーションによる最適化手法により、その定義された仮想エンジンシステム（広義）における仮想ECU20が膨張行程噴射量を制御する制御方法も最適化する。

【0071】図12には、その仮想ECU20が用いる膨張行程噴射量制御マップがその最適化前の状態で示されている。膨張行程噴射量制御マップは、触媒コンバータ18の入口温度である触媒入口温度（エンジン10の排気温度に相当する）に応じてエンジン10の#3気筒にその膨張行程において噴射すべき膨張行程噴射量を記述している。同図においては、触媒入口温度の各値ごとに膨張行程噴射量が、例えば5 [mm³/ストローク] が1.0に相当するように換算された数値で示されている。

【0072】これに対して、図13には、同じマップが、コンピュータシステム30による計算により最適化された後の状態で示されている。この最適化は、各膨張行程噴射量が生物の染色体に見立てられて遺伝的アルゴリズムにより、前記設定された2つの目標が達成されるように行われる。

【0073】その後、ステップS6において、設計者が、実験エンジンシステム（狭義）であってエンジン10と触媒コンバータ18との各仕様が上記のようにして暫定的に最適化されたものを準備する。さらに、設計者は、実験ECU20であって上記のようにして暫定的に最適化された膨張行程噴射量制御マップが格納されたものをも準備する。

【0074】続いて、ステップS7において、まず、設計者により、その準備された実験エンジンシステム（狭義）が、その準備された実験ECU20により、上記暫定的に最適化された膨張行程噴射量制御マップのもとに運転される。

【0075】図14には、実験エンジンシステム（狭義）が10.15モードで運転されたときに触媒入口温度が経過時間につれて変化する様子がグラフで示されている。

【0076】図15には、同じ実験エンジンシステム（狭義）が10.15モードで運転されたときに、触媒コンバータ18の出口である触媒出口におけるNO_x濃度（以下、「触媒出口NO_x濃度」ともいう）が経過時間につれて変化する様子が実線のグラフで示されている。

【0077】図15には、さらに、仮想エンジンシステム（狭義）が10.15モードで運転されたときに、触媒出口NO_x濃度が経過時間につれて変化する様子が破線のグラフで示されている。この様子は、コンピュータシステム30によるシミュレーションにより解析される。すなわち、同図には、10.15モードにおける触媒出口NO_x濃度に関し、実験値と計算値とがそれぞれ示されているのであり、同図においては、その破線のグラフが、計算値の実験値への適合度が65 [%]であることを示している。ここに「適合度」は、触媒出口NO_x濃度の計算値をその実験値で割り算することにより算出される。

【0078】このように、現段階においては、適合度が65 [%]であるというように低く、触媒出口NO_x濃度の計算値と現実の値との一致が悪いので、S3におけると同様なパラメータチューニングが行われる。

【0079】図16には、10.15モードにおける触媒出口NO_x濃度に関し、実験値と計算値であってそのパラメータチューニングにより改善されたものとがそれぞれ、実線のグラフと破線のグラフとにより示されている。同図においては、計算値の適合度が90 [%]にまで上昇させられている。

【0080】その後、ステップS8において、コンピュータシステム30が、上記のようにして最終的に最適化された仮想エンジンシステム（狭義）と仮想ECU20とにより前記2つの目標が一緒に達成されるか否かを判定する。現時点での仕様および制御方法によれば、燃費悪化率は3 [%]以下であったが、NO_x浄化率は20 [%]に止まり、そのため、前記2つの目標を一緒に達成し得なかったと仮定すれば、ステップS5に戻る。

【0081】このステップS5においては、再度、膨張行程噴射量制御マップが最適化される。図17には、再度最適化された膨張行程噴射量制御マップが示されている。

【0082】その後、ステップS6において、設計者が、実験エンジンシステム（狭義）であってエンジン10と触媒コンバータ18との各仕様が上記のようにして再度暫定的に最適化されたものを準備する。さらに、設計者は、実験ECU20であって上記のようにして再度暫定的に最適化された膨張行程噴射量制御マップが格納

されたものをも準備する。

【0083】続いて、ステップS7において、まず、設計者により、その準備された実験エンジンシステム（狭義）が、その準備された実験ECU20により、上記再度暫定的に最適化された膨張行程噴射量制御マップのもとに運転される。

【0084】さらに、このステップS7においては、コンピュータシステム30が、仮想エンジンシステム（広義）であって膨張行程噴射量制御マップが再度暫定的に最適化されたものの運転状態がシミュレーション解析される。

【0085】図18には、実験エンジンシステム（狭義）が10.15モードで運転されたときに、実験触媒コンバータ18の出口におけるNOx濃度が経過時間につれて変化する様子が実線のグラフで示されている。同図には、さらに、仮想エンジンシステム（狭義）が10.15モードで仮想的に運転されたときに、仮想触媒コンバータ18の出口におけるNOx濃度が経過時間につれて変化する様子が破線のグラフで示されている。すなわち、同図には、触媒コンバータ18の出口におけるNOx濃度に関し、実験値と計算値とがそれぞれ示されているのである。

【0086】それらグラフから明らかなように、上記のようにして最適化された膨張行程噴射量制御マップによれば、触媒出口NOx濃度の計算値が十分に高い精度で実験値と一致する。

【0087】その後、ステップS8において、コンピュータシステム30が、上記のようにして最終的に最適化された仮想エンジンシステム（狭義）と仮想ECU20とにより前記2つの目標が一緒に達成されるか否かを判定する。現時点での仕様および制御方法によれば、燃費悪化率およびNOx浄化率が共に、それぞれの目標を達成する。

【0088】なお付言すれば、この適用例においては、ステップS3ないしS6が、エンジンシステム（広義）を、定常運転状態における性能実現の観点から設計するために行われるのに対し、ステップS7が、同じエンジンシステム（広義）を、過渡運転状態（例えば、車両の加減速状態）における性能実現の観点から設計するために行われる。

【0089】以上の説明から明らかなように、本実施形態においては、図3におけるステップS3が請求項1における「パラメータチューニング工程」の一例を構成し、同図におけるステップS4およびS5が互いに共同して同請求項における「暫定的最適化工程」の一例を構成し、同図におけるステップS7が同請求項における「最終的最適化工程」の一例を構成しているのである。

【0090】さらに、本実施形態においては、現実ECU20が請求項2における「現実制御装置」の一例を構成し、図3におけるステップS5のうち制御方法の暫定

的最適化に関する部分が同請求項における「制御方法暫定的最適化工程」の一例を構成し、同図におけるステップS7のうち制御方法の最終的最適化に関する部分が同請求項における「制御方法最終的最適化工程」の一例を構成しているのである。

【0091】さらに、本実施形態においては、遺伝的アルゴリズムを用いた最適化手法が請求項3における「適合度参照型逐次解法」の一例を構成しているのがある。

【0092】さらに、本実施形態においては、ECU20が請求項4における「制御装置」の一例を構成しているのである。

【0093】さらに、本実施形態においては、図2におけるコンピュータ支援設計プログラムが請求項6に係る「コンピュータ支援設計プログラム」の一例を構成しているのである。

【0094】さらに、本実施形態においては、メモリ42のうち図2におけるコンピュータ支援設計プログラムを記録した部分が請求項7に係る「記録媒体」の一例を構成しているのである。

【0095】以上、本発明の一実施形態を図面に基づいて詳細に説明したが、これは例示であり、前記「発明が解決しようとする課題および発明の効果」の欄に記載した態様を始めとして、当業者の知識に基づいて種々の変形、改良を施した形態で本発明を実施することが可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態であるコンピュータ支援設計方法に従って設計される自動車用のエンジンシステムの構成を概念的に示す正面図である。

【図2】上記コンピュータ支援設計方法を実施するためのコンピュータ支援設計プログラムを実行するコンピュータシステム30のハードウェア構成を概念的に示すブロック図である。

【図3】図2におけるコンピュータ支援設計プログラムの内容を概念的に表すフローチャートである。

【図4】自動車用のエンジンシステムを設計する従来の手法を示すフローチャートである。

【図5】図1におけるエンジンシステム（狭義）の一具体例を概念的に示す平面図である。

【図6】図5における触媒コンバータ18のための解析用供試触媒コンバータを示す斜視図である。

【図7】図5における触媒コンバータ18の仮想モデルを示す縦断面図である。

【図8】図5における触媒コンバータ18の仮想モデルを示す別の縦断面図である。

【図9】図5における触媒コンバータ18の仮想モデルにおいて排気流れにおいて物質が保存される現象を記述する2つの保存方程式を示す図である。

【図10】図5における触媒コンバータ18に対してパラメータチューニングが行われる前におけるHC浄化率

10

20

30

40

50

およびNO_x浄化率に関して実験値と計算値とをそれぞれ示すグラフである。

【図11】図5における触媒コンバータ18に対してパラメータチューニングが行われた後におけるHC浄化率およびNO_x浄化率に関して実験値と計算値とをそれぞれ示すグラフである。

【図12】図5におけるエンジン10の#3気筒にそれの膨張行程において燃料を噴射する膨張行程噴射量制御マップをそれに対して最適化が行われる前における状態で示す図である。

【図13】その膨張行程噴射量制御マップをそれに対して最適化が行われた後における状態で示す図である。

【図14】図5における触媒コンバータ18の入口温度である触媒入口温度の実験値の時間的推移を示すグラフである。

【図15】図5における触媒コンバータ18に対してパラメータチューニングが行われる前における、その触媒コンバータ18の出口である触媒出口におけるNO_x濃度に関して計算値と実験値とをそれぞれ示すグラフである。

10

* 20

* 【図16】図5における触媒コンバータ18に対してパラメータチューニングが行われた後における、その触媒コンバータ18の出口である触媒出口におけるNO_x濃度に関して計算値と実験値とをそれぞれ示すグラフである。

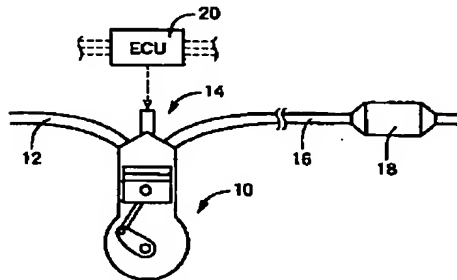
【図17】前記膨張行程噴射量制御マップをそれに対して最適化が再度行われた後における状態で示す図である。

【図18】前記膨張行程噴射量制御マップをそれに対して最適化が再度行われた後における、図5における触媒コンバータ18の出口である触媒出口におけるNO_x濃度に関して計算値と実験値とをそれぞれ示すグラフである。

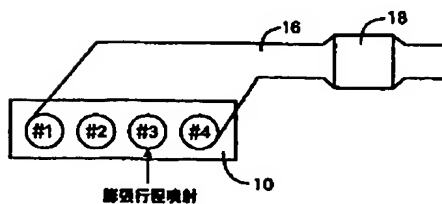
【符号の説明】

- 10 エンジン
- 20 電子制御ユニットECU
- 30 コンピュータシステム
- 42 メモリ
- 46 コンピュータ

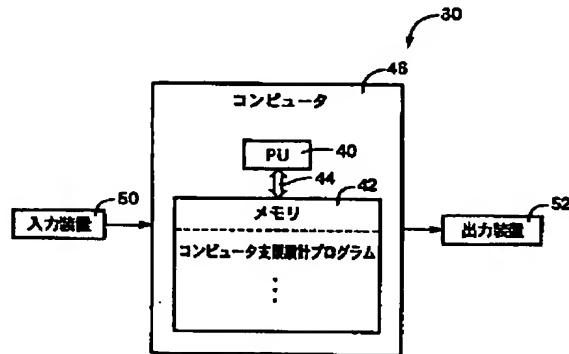
【図1】



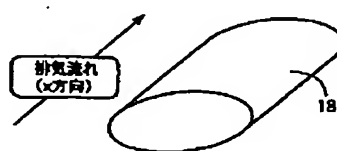
【図5】



【図2】



【図6】

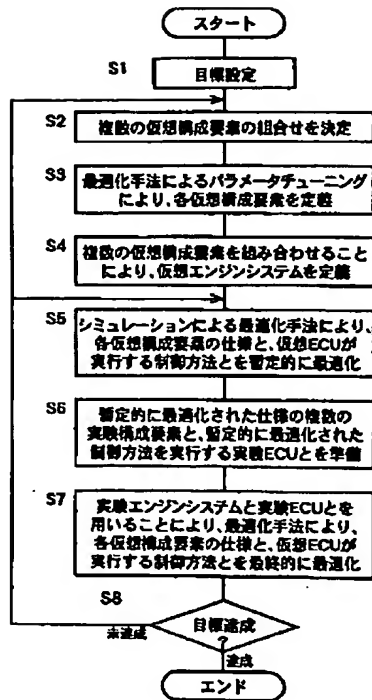


【図9】

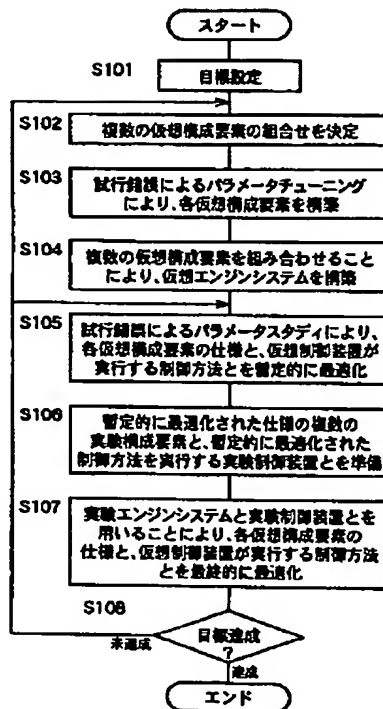
$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\rho_A}{M_A} u_x [\text{HC}] \right] = \frac{\rho_A}{M_A} (-S_{\text{HC}}) \quad \dots (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\rho_A}{M_A} u_x [\text{NO}_x] \right] = \frac{\rho_A}{M_A} (-S_{\text{NO}_x}) \quad \dots (2)$$

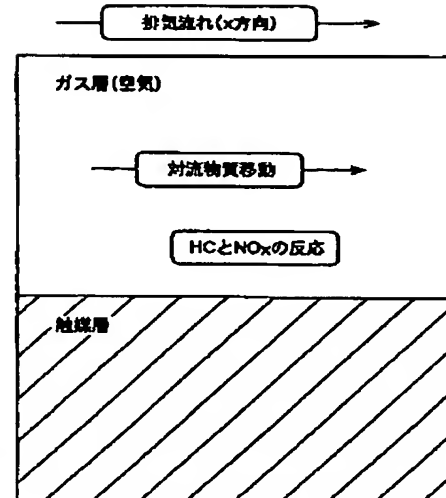
【図3】



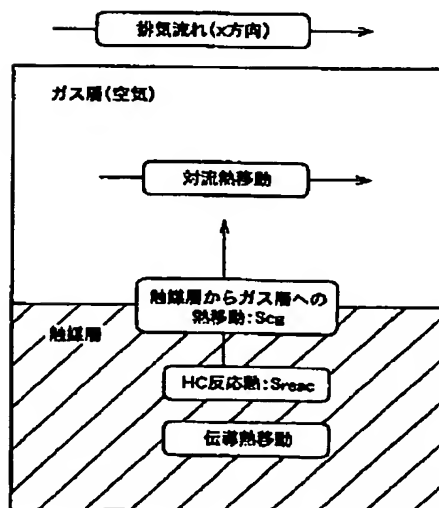
【図4】



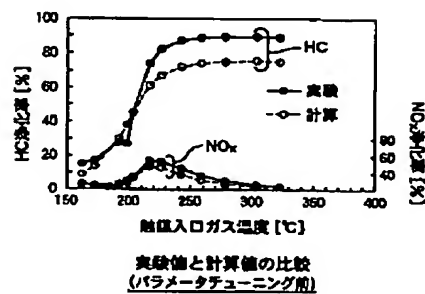
【図7】



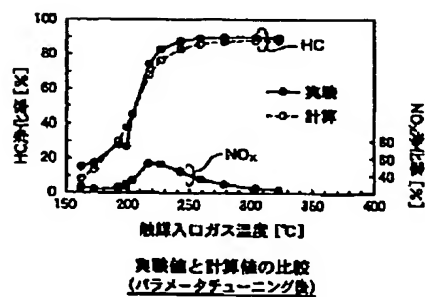
【図8】



【図10】



【図11】



【図12】

触媒入口温度 [°C]										
200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400
0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0	0	0	0	0

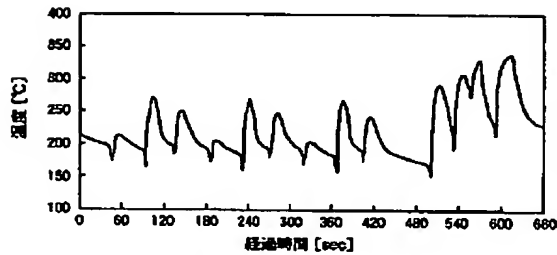
膨張行程噴射量制御マップ

【図13】

触媒入口温度 [°C]										
200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400
0.2	0.5	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2	0	0	0	0

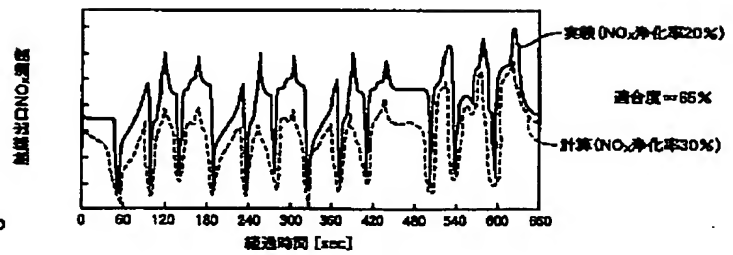
計算により最適化されたマップ

【図14】

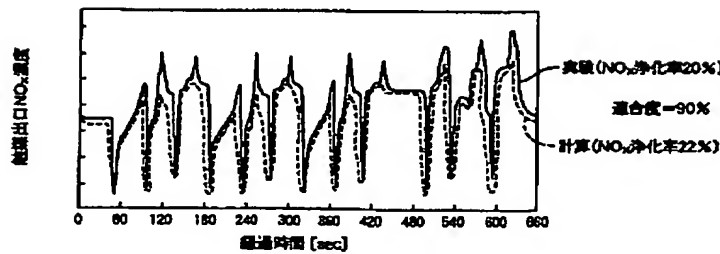


10.15モードにおける触媒入口温度の時間変化

【図15】

計算値と実験値の比較
(触媒出口NO₂濃度)

【図16】

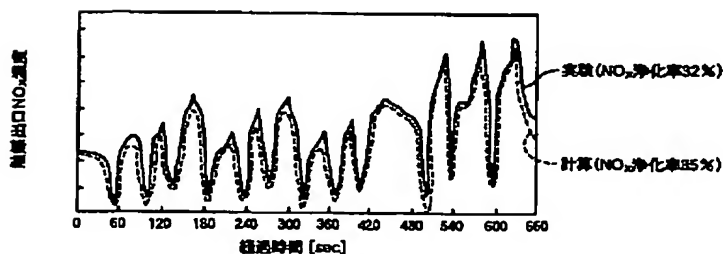
計算値と実験値の比較
(パラメータチューニング後)

【図17】

触媒入口温度 [°C]										
200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400
0.1	0.8	1.0	0.9	0.8	0.4	0	0	0	0	0

再度最適化されたマップ

【図18】



実験値と計算値の比較

フロントページの続き

(72)発明者 藏 蘭 功一
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番
地の1 株式会社豊田中央研究所内

Fターム(参考) 3G084 AA01 BA04 BA11 BA24 DA00
DA10 EB02 EB08
5B046 AA04 BA01 CA04 GA01